



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# UPM GRADA -PROFIILIEIEN VALMISTUS

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Puutekniikan koulutusohjelma  
Puutekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Jani Vähäsilta

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lahdessa keväällä 2013. Työ on osa Lahden ammattikorkeakoulun Puutekniikan koulutusohjelmaa.

Opinnäytetyöni ohjaajana koulun puolelta toimi lehtori Ilkka Tarvainen. Toimeksiantajan puolelta työtäni ohjasi kehitysinsinööri Antti Lankinen sekä tuote johtaja Mikko Tilli.

Haluan kiittää heidän lisäksi kaikkia henkilöitä, jotka ovat auttaneet minua työni valmistumisessa.

Lahdessa 10.4.2013

Jani Vähäsilta

Lahden ammattikorkeakoulu

Puutekniikan koulutusohjelma

VÄHÄSILTA, JANI:

UPM Grada -profiilien valmistus

Puutekniikan opinnäytetyö, 33 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2013

## TIIVISTELMÄ

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mahdollisuuksia valmistaa UPM Grada -lämpömuovattavasta puulevystä taivutettavia puuprofiileja. Tarkoituksena oli luoda UPM Gradan Jyväskylän tehtaalta jääville hukkapaloille ja ns. kakkoslaadun levyille lisäarvoa kehittämällä jatkojalostusmahdollisuus. Työssä testattiin kertakovettuvien liimojen soveltumista profiiliaihoiden paksuuden kasvattamiseen ennen lämmitystä ja taivutusta. Valmistuksen lisäksi tutkittiin koekappaleiden lämmitysaikoja sekä pintakäsittelyn toteuttamista ennen lämmitystä ja taivutusta.

Työn teoriaosuudessa kerrotaan, millainen materiaali UPM Grada on ja miten sitä valmistetaan. Teoriaosuudessa käydään läpi myös profiilien valmistusmenetelmät ja se, millaisilla laitteilla valmistus on mahdollista. Tässä osuudessa kerrotaan tarkemmin UPM Gradan taivutuksen vaatimista lämpötiloista ja lämmitysajoista, joita materiaali vaatii taipuakseen ja säilyttääkseen muotonsa.

Kokeellisessa osuudessa testattiin käytännössä miten, profiilien valmistaminen olisi mahdollista. Teoriaosuudessa kerrotuista menetelmistä työssä jouduttiin soveltamaan työstölaitteita ja menetelmiä, koska testit tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa, jossa ei ollut teollisenmittakaavan laitteita. Työstöt kuitenkin tehtiin siten, että ne olisi mahdollista toteuttaa myös teollisuuden mittakaavassa. Testauksessa kerrotaan testien tulokset ja se, miten ne vastasivat odotuksia. Testausten lisäksi työssä laskettiin suuntaa antavat kustannuslaskelmat profiilien valmistukselle.

Asiasanat: UPM Grada, profiili, taivutus, lämmitysaika

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in wood technology

VÄHÄSILTA, JANI: UPM Grada profile production

Bachelor's Thesis in wood technology  
appendices

33 pages, 3 pages of

Spring 2013

## ABSTRACT

---

The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the possibilities to produce bent wood profiles from the UPM Grada thermoplastic wooden panels. The goal was to add value to the second-class material and the panels left over at the UPM Grada Jyväskylä factory by creating a way of re-processing them. Single-curing glues were tested to see if they could be used to increase the thickness of the profile blanks before heating and bending. In addition, the heating times of the test profiles and the execution of the surface finishing before heating and bending was examined.

The theory part of the thesis describes UPM Grada as a material and how it is produced. Production methods of the profiles and the devices used in the production are also described. In this part the temperatures and heating times needed to bend UPM Grada and preserve the material's shape are also described more closely.

In the practical part of the thesis the goal was to test in practice how to produce the profiles. The machines and methods were not the same as those described in the theory part, because the tests were done in the wooden laboratory of the Lahti University of Applied Sciences where there are no industrial-scale machines. The test results and how the expectations were met is also described. In addition, preliminary cost estimate of production of the profiles was made.

Key words: UPM Grada, profile, bending, heating time

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	YRITYS JA MATERIAALI	3
2.1	UPM	3
2.2	UPM Grada -materiaali	4
2.3	Perinteinen muotopuristus	5
2.4	UPM Grada vs. perinteinen muotopuristus	5
3	PROFIILIEIEN VALMISTUS	7
3.1	Työstövaiheet	7
3.2	Työstölaitteet	7
3.3	Lämmitysmenetelmät ja -laitteet	8
3.4	Lämpötila	8
3.5	Lämmitysaika	9
3.6	Taivutusmenetelmät	9
3.7	Profiilimallit	10
3.8	Liimaustekniikka ja liimat	11
3.9	Käyttökohteet	11
4	KOKEELLINEN OSUUS	12
4.1	Profiilien valmistaminen	12
4.2	Lämmitysmuottien valmistus	16
4.3	Taivutusmuotin valmistus	18
4.4	Pintakäsittely	18
4.5	Lämmitysaikojen mittaukset	18
4.6	Taivutus	19
5	VALMISTUSKUSTANNUKSET	21
5.1	Materiaalin hinta	21
5.2	Profilointikustannukset	22
5.3	Lämmityskustannukset	23
5.4	Taivutuskustannukset	24
6	TULOSTEN TARKASTELU	25
6.1	Lämmitysaikatestit	25
6.2	Taivutustestit	26
6.3	Kehitysehdotukset	29

7	YHTEENVETO	30
	LÄHTEET	32
	LIITTEET	34

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin UPM Kymmene Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön aiheena oli tutkia UPM:n valmistaman UPM Grada -lämpömuovattavan puulevyn tehtaalta jäävien hukkapalojen sekä laadultaan hylättyjen levyjen hyötykäyttöä. Tässä työssä hyötykäyttö painottuu eri paksuisten ja mallisten profiilien valmistusmenetelmiin.

Teoriaosuudessa kerrotaan UPM Gradan lisäksi perinteisestä muotopuristuksesta ja sen työvaiheista. Teoriaosuudessa myös vertaillaan perinteisen muotopuristuksen ja UPM Gradalla tehdyn muotopuristuksen eri työvaiheita.

Tarkoituksena oli kartoittaa profiilien valmistuksessa käytettäviä työstölaitteita, joilla olisi mahdollista valmistaa profiileja teollisessa mittakaavassa. Tässä työssä koekappaleet valmistettiin vaihtoehtoisilla menetelmillä, koska käytössä ei ollut teollisuudessa käytettäviä laitteita. Koekappaleet ja niiden testaukset suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun puulaboratorion tiloissa.

Valmiille profiileille suunniteltiin ja valmistettiin kuparinen sekä alumiininen lämmitysmuotti, jotta lämmitysaikaa saataisiin nopeutettua nykyisestä lämmitysjajasta. Pintakäsittelyllä testattiin, olisiko maalaus mahdollista suorittaa ennen lämmitystä ja taivutusta, jolloin pintakäsittelyvaiheessa olisi vain suoria kappaleita. Taivutuskokeilla testattiin, olisiko profiilien paksuutta mahdollista kasvattaa kertakovettuvilla liimoilla sekä se miten kapeat viilut kestävä taivutusta. Profiileille laskettiin myös suuntaa antavat valmistuskustannukset.

Opinnäytetyössä pohditaan testauksen lisäksi profiilien soveltumista erilaisiin käyttökohteisiin. Huonekaluteollisuus nousi vahvasti esiin, koska profiileista olisi mahdollista valmistaa valmiita huonekalukomponentteja. Jos profiileista alettaisiin valmistaa huonekalukomponentteja, tulisi niiden kestävyys käyttökohteen mukaan erikseen määritellä.

Opinnäytetyön teon aikana vierailtiin UPM:n Jyväskylän tehtaalla, joka valmistaa opinnäytetyössä käytetyn materiaalin. Tehdasvierailulla tutustuttiin UPM Gradan valmistukseen sekä valmistusmenetelmiin. Tämän lisäksi vierailulla tutkittiin profiileissa käytettävää materiaalia.

Profilointiin käytettäviä laitteita tiedusteltiin Penopelta, joka toimittaa puuntyöstökoneita. Yrityksen toimitilat sijaitsevat Lahdessa. Tiedustelun lisäksi yritykseen tehtiin vierailukäynti, jonka aikana saatiin lisätietoa koneista ja niiden teknisistä tiedoista.



## 2 YRITYS JA MATERIAALI

Yritysesittelyssä kerrotaan hieman UPM:n historiaa sekä siitä, miten yritys on muodostunut nykyiseen muotoonsa. Esittelyssä kerrotaan myös, missä ja millaisella tehtaalla UPM Gradaa valmistetaan. Materiaaliosuudessa kerrotaan millainen materiaali UPM Grada on ja millainen on sen valmistusprosessi.

### 2.1 UPM

UPM:llä on pitkä historia puun erilaisesta käytöstä aina 1870-luvun alkupuolelta, jolloin yhtiön ensimmäiset sahatehtaat, puuhiomot sekä paperitehtaat aloittivat toimintansa. Myöhemmässä vaiheessa yhtiö aloitti sellun valmistuksen 1880-luvulla ja paperinjalostuksen 1920-luvulla. Viimeisenä mukaan tuli vanerin valmistus 1930-luvulla. Lyhenne UPM tulee sanoista United Paper Mills. (UPM 2013a.)

Nykyiseen muotoonsa yhtiö tuli yritysfuusion kautta vuonna 1995, jolloin yhdistyivät Kymmene Oy, Repola Oy sekä UPM Oy. Tällä hetkellä yhtiö kantaa nimeä UPM Kymmene Oy, joka otettiin käyttöön toukokuussa 1996.

Tämänhetkinen konserni on muodostunut noin sadasta ennen itsenäisestä yrityksestä. (UPM 2013a.)

UPM-konsernilla on tällä hetkellä yhdeksän eri liiketoiminta-alaa: paperi, sellu, energia, biopolttoaineet, metsä- ja puunhankinta, UPM Timber, tarramateriaalit, vaneri sekä puumuovikomposiitti. (UPM 2013b.)

UPM-konsernilla oli vuonna 2011 liikevaihtoa yli 10 miljardia euroa.

Työntekijöitä konsernilla oli samana vuonna yhteensä noin 23 000 henkilöä, jotka työskentelevät 17:ssä eri maassa. (UPM 2013c.)

Opinnäytetyöni materiaalin valmistus tapahtuu UPM:n Jyväskylän vaneritehtaalla, joka sijaitsee Säynätsalossa noin 20 kilometriä Jyväskylän keskustasta Helsinkiin päin. Jyväskylän tehtaan vuosikapasiteetti on noin 100 000 m<sup>3</sup>/vuosi valmista vaneria. Vanerin valmistuksen käyttösuhte on 2,8. Käyttösuhteella tarkoitetaan tukkikuutiomäärää, josta saadaan valmistettua yksi kuutio valmista vaneria.

Tehtaalla on mahdollista sorvata viilua 400 m<sup>3</sup>/vuorokausi. Tässä tapauksessa siis

yhteen kuutiometriin valmista vaneria tarvitaan  $2,8 \text{ m}^3$  tukkia. Tehtaan henkilöstömäärä on noin 300 henkilöä. Tehtaalla työskennellään kolmessa vuorossa. Jyväskylän vaneritehtaalla käytetään koivun lisäksi myös kuusta raaka-aineena, jolloin koivuvanerin lisäksi voidaan valmistaa twin- ja havuvaneria. Yleisimmät valmistetut UPM Gradat ovat paksuudeltaan 4,5 mm ja 7 mm. (Hassinen 2013.)

## 2.2 UPM Grada -materiaali

UPM Grada -lämpömuovattava puulevy on edistyksellinen vaihtoehto perinteiselle muotopuristeelle. UPM Grada on rakenteeltaan vaneria vastaava puulevy, jossa nestemäinen liima on korvattu liimakalvolla. Liimakalvon etuna on sen jälleensulatusominaisuus, jolloin puulevyä voidaan muotoilla uudelleen, sekä tahraamattomuus. UPM Grada on myös ekologinen ja turvallinen vaihtoehto perinteiselle menetelmälle, koska muotoiluprosessiin ei tarvita vaarallisia kemikaaleja, eikä siitä tule formaldehydipäästöjä. Se on myös kierrätettävä materiaali. (UPM 2013d.)

UPM Grada -levy on valmistettu 1,5 mm paksuisesta sorvatusta koivuviilusta. UPM Gradassa käytettävä materiaali on koivua (Betula Pendula), joka on kasvanut Etelä- ja Keski-Suomessa sekä Luoteis-Venäjällä. (UPM 2013e.)

UPM valmistaa UPM Grada -levyä tällä hetkellä Jyväskylän vaneritehtaalla, ja sitä on saatavana neljää eri standardipaksuutta, jotka ovat 4,5–13,0 mm. (TAULUKKO 1.) Valmiiden levyjen standardimitat ovat 1250 x 2500 mm sekä 1500 x 3000 mm, mutta levyt voidaan leikata asiakkaan antamiin mittoihin. (UPM 2013f.)

Taulukko 1. UPM Grada -levyjen paksuudet, paksuustoleranssit sekä painot. (UPM 2013f.)

Nimellispaksuus (mm)	Paksuus Min.	Paksuus Max.	Paino ( $\text{Kg/m}^2$ )
4,5	3,7	4,7	2,6
7	6,7	7,7	4,5
10	9,7	10,7	6,5
13	12,5	13,5	8,5

### 2.3 Perinteinen muotopuristus

Muotopuristuksella tarkoitetaan, että puuviilut liimataan toisiinsa kiinni puristamalla viilunippu halutun muotoiseksi kappaleeksi, siihen valmistetun muotin avulla. Perinteisessä muotopuristuksessa leikatut ja liimoitetut viilut ladotaan päällekkäin. Valmis viilunippu asetetaan muottiin, joka on hydraulipuristimessa. Puristuksessa voidaan käyttää kahta erilaista lämmitystapaa. Lämpöpuristuksessa muottiin johdetaan lämpöä ylä- ja alapuolelta, jolloin lämpö johtuu viilujen läpi pinnasta keskelle kovettaen liimasauman.

Suurjaksopuristuksessa kappaleen liimasaumoihin kohdistetaan lämpöä radioaaltojen ja sähkökentän avulla. Tässä lämmitysmuodossa radioaallot aiheuttavat liiman sisältämissä vesimolekyyleissä värähtelyä, joka aiheuttaa kitkaa. Kitkan ansiosta syntyy lämpöä. Tämä lämpö saa aikaa veden haihtumista ja tällöin liimasauma kovettuu.

### 2.4 UPM Grada vs. perinteinen muotopuristus

Perinteisessä muotopuristuksessa on huomattavasti enemmän työvaiheita kuin jos sama tuote tehtäisiin UPM Gradaa käyttämällä. Perinteisellä tavalla tehdyssä muotopuristeessa joudutaan tekemään seuraavat työvaiheet:

- viilujen leikkaus
- liiman valmistus
- liiman levitys
- viilujen ladonta
- puristus.

Näiden työvaiheiden lisäksi tulee tehdä seuraavat toimenpiteet:

- muotin puhdistus mahdollisesta liimasta
- liimoituslaitteen puhdistus.

Viilujen liimoitukseen käytetyn laitteen puhdistuksessa liimaa menee hukkaan sekä puhdistuksesta tullut pesuvesi tulee puhdistaa. Edellä mainitut asiat tuovat lisäkustannuksia tuotantoon sekä kuormittavat ympäristöä.

UPM Gradalla tehdyn muotopuristeen työvaiheet:

- levyn sahaus
- lämmitys
- puristus.

Näiden työvaiheiden lisäksi ei tarvitse huolehtia likaisista muoteista tai liimoituslaitteen puhdistuksesta. UPM Gradalla tehty muotopuristus onnistuu vähemmällä työvaiheilla kuin perinteinen muotopuristus. Nestemäisen liiman korvaaminen kiinteällä liimakalvolla mahdollistaa työympäristön helpon puhtaanapidon eikä likaa puristusmuottia. UPM Grada on myös ympäristöystävällisempi vaihtoehto, koska sitä käytettäessä ei tarvitse puhdistaa liimaa liimoituslaiteesta, jonka vuoksi syntyy ympäristölle haitallista liiman pesuvettä. Myös ympäristölle haitalliset formaldehydipäästöt ovat pienemmät UPM Gradaa käytettäessä.

### 3 PROFIIlien VALMISTUS

Puisten profiilien valmistus tapahtuu usein jyrsimällä puuhun haluttavat muodot alajyrsintä tai listahöylää käyttäen. Alajyrsintä ja listahöylää käytetään yleisesti erilaisten muotojen valmistukseen, koska laitteisiin voidaan valmistaa lähes loputon määrä eriprofiilisia teriä. Alajyrsintä käytetään yleisesti pienien erien valmistukseen ja sitä voidaan käyttää myös lyhyiden kappaleiden valmistukseen. Listahöylää käytetään suurien erien ja pitkien kappaleiden valmistukseen, jolloin tarvitaan useaa muotoa kappaleen jokaiselle kantille. Listahöylässä on yleisesti 5–10 karaa, joihin voidaan asettaa halutun muotoinen profiiliterä. Listahöylässä pitää olla vähintään neljä suoraa terää, jotta kappale saa suorakulmaiset muodot.

#### 3.1 Työstövaiheet

Profiilien valmistus aloitetaan liimaamalla yhteen halutun paksuiset levyt, näistä saadaan valmistettua riittävän paksuinen aihio, josta voidaan valmistaa halutun dimensioinen profiili. Liimauksen jälkeen levyaihiosta sahataan profiiliaihiot irralleen. Tämän jälkeen valitaan haluttu työstömenetelmä, jolla työstetään oikean mallinen profiili. Profiloinnin jälkeen kappaleet lämmitetään riittävän kuumiksi profiilin muotoilu varten. Taivutuksen jälkeen kappaleet tulee viimeistellä halutulla tavalla tai käyttökohteen mukaan. Profiileihin voidaan tehdä tarvittavat työstöt, kuten reiät/urat tapitusta varten ennen tai jälkeen taivutuksen. Ennen taivutusta reiät/urat tulee mitoittaa viilujen liukumisen ja taivutussäteen mukaan siten, että taivutuksen jälkeen se on halutussa muodossa. Taivutuksen jälkeen tehtävässä työstössä voidaan käyttää perinteistä mitoitusta, eikä siinä ole erityistä huomioitavaa.

#### 3.2 Työstölaitteet

UPM Grada -profiilien valmistuksessa vaaditaan puristin, jolla voidaan liimata levyt toisiinsa kiinni. Puristimessa voi olla lämmitettävät levyt, jolloin sitä voidaan myös käyttää profiilien lämmitykseen. Levyjen katkaisuun ja halkaisuun tarvitaan tarkkuuspyörösaha, jolla profiiliaihioista ja valmiista profiileista saadaan mittatarkkoja. Profiilin valmistukseen käytetään alajyrsintä tai listahöylää, jolla saadaan halutut muodot tehtyä. Profiileihin haluttaviin työstöihin koneet tulee

valita käytettävyyden mukaan. Viimeistelyyn valitaan pintakäsittelylaitteet tuotannon suuruuden mukaan.

## Terät

Profiilien valmistukseen valittavat terät valmistetaan mittatilaustyönä, jolloin voidaan päättää millaisia muotoja valmistetaan. Terävalmistajia on useita ympäri maailman ja teriä maahantuovia yrityksiä, jotka toimittavat eri yritysten valmistavia teriä on monia. Terämateriaali on yleisesti kovametallia.

### 3.3 Lämmitysmenetelmät ja -laitteet

Yleisesti levyjen lämmityksessä lämpöä johdetaan kahdesta suunnasta kohtisuoraan syitä vasten. Tähän käytetään hydraulista puristinta, jossa ylä- ja alapuolella on lämmitettävät teräslevyt. Levyjen lämmitys hoidetaan vedellä, sähkövastuksilla tai lämmitettävällä öljyllä. Vesilämmitteisissä puristimissa käyttölämpötilat jäävät alle 100°C:n. Tässä työssä on tarkoitus tutkia lämmitysaikaa, kun lämpöä johdetaan kappaleen ympäriltä kuparista sekä alumiinista valmistetulla lämmitysmuotilla.

#### Lämmityslaitteet

Levyjen lämmitykseen käytetään yleisesti kuumalevypuristinta, jossa on yksi tai useampi puristusväli. Puristimen puristuspinnat ovat hyvin lämpöä johtavaa metallia, jolla saadaan nopeasti lämpö johdettua lämmitettävään materiaaliin.

### 3.4 Lämpötila

UPM Grada materiaali tarvitsee 130°C ydinlämpötilan, jolloin liimakalvo on sulanut. Tämän jälkeen materiaalin uudelleen muotoilu on mahdollista. Lämpötila ei saa laskea alle 115°C ennen puristimen sulkeutumista, koska silloin viilujen liukuminen toisiinsa nähden ei ole välttämättä sulavaa ja tuotteeseen voi muodostua niin sanottuja ilmataskuja, jotka heikentävät tuotteen lujuusominaisuuksia sekä visuaalista ilmettä. UPM Grada materiaalin voi poistaa puristimesta lämpötilan laskettua 80°C, jolloin liimakalvo on saavuttanut kiinteän olomuotonsa ja puristeen muoto säilyy halutunlaisena.

### 3.5 Lämmitysaika

Materiaalin lämmitysaika riippuu tuotteen paksuudesta sekä lämpöpuristimen lämpötilasta. Puristimen lämpötilan tulisi olla 145°C, jolloin saadaan paras lopputulos. Lämpötilaa voidaan nostaa, jolloin levyn käsittelyaika pitenee ennen puristusta, mutta liikaa lämpöä nostettaessa puun väri voi muuttua tummaksi. UPM Gradalle on saatavana lämmitystaulukko valmiille levypaksuuksille, josta ilmenee myös jäähdytysaika ja pienin taivutussäde (TAULUKKO 2.) Taulukon arvot on mitattu ilman lämpötilan ollessa 25°C. Lämmityspuristimessa on ollut testaushetkellä lämpöä 145°C ja levyn viilupaksuus on ollut 1,5 mm. Lämmitysaika on aika joka kuluu lämmön siirtymiseen levyn pinnasta levyn keskikohtaan, jolloin kaikki liimakalvot ovat sulaneet nestemäiseksi.

Taulukko 2. UPM Gradan lämmitys- ja jäähdytysajat sekä taivutussäteet (UPM 2013f.)

Levyn paksuus (mm)	Lämmitysaika 130°C	Jäähdytysaika <80°C	Pienin taivutussäde (mm)
4,5	1 min 30 sek	45 sek	25-30
7	2 min 30 sek	1 min	30-40
10	4 min	3 min	40-50
13	7 min	4 min	50-60

### 3.6 Taivutusmenetelmät

Puisten taivutettujen kappaleiden valmistukseen käytetään yleisesti puusta tai muusta kovasta materiaalista valmistettua muottia, jota vasten kappale puristetaan. Paineen luomiseen käytetään puristuspaineen tarpeesta riippuen joko käsipuristinta tai suuremmissa kappaleissa hydraulipuristinta (KUVA 1.), jolla saadaan aikaan korkeat paineet. Ohuiden kappaleiden 3D-puristuksessa voidaan myös käyttää alipainetta, mutta tällä menetelmällä suurin puristusaine on noin 1 bar.



KUVA 1. Puun taivutusta hydraulipuristimella (Alibaba 2013.)

### 3.7 Profiilimallit

Tähän työhön valittiin pyöreä profiilimalli, mutta erilaisia profiilimalleja on lähes loputon määrä. Näillä profiilimalleilla on mahdollista kokeilla erilaisia lämmitysvaihtoehtoja, joilla olisi mahdollista luoda uusia menetelmiä puutuoteteollisuuteen. Taivutettuja puuprofiileja, jotka olisi valmistettu esimerkiksi liimatuista viiluista, ei tällä hetkellä ole markkinoilla.

#### O-profiili

O-profiili on neliönmallisesta aihioista työstetty pyöreänmallinen profiili. Pyöreä muoto aihioon saadaan alajyrsimellä jyrsimällä kaarevalla terällä terävät kulmat pois tai vaihtoehtoisesti sorvaamalla kappale pyöreäksi. Pitkillä kappaleilla työstöä tehdessä työstöön soveltuu parhaiten listahöylä. Pienisäteisten profiilien valmistuksessa voidaan myös käyttää tappisorvauskonetta.



### 3.8 Liimaustekniikka ja liimat

Levyjen liimauksessa käytetään levypuristinta, jossa puristinlevyt voivat olla lämmitettäviä, tällöin myös lämpöä tarvitsevien liimojen käyttö on mahdollista. Puristimia on yksi- ja monivälipuristimia. Näistä teollisuudessa käytetään useimmiten monivälipuristinta, jotta saadaan tehokkuutta tuotantoon. Yksivälipuristimia käytetään yleisesti pienillä pajoilla tai testauskäytössä. Tässä työssä käytössä oli yksivälinen kuumalevypuristin, jolla saatiin lämmitettyä UPM Gradan liimakalvot riittävän kuumiksi taivutusta varten.

#### Liimat

UPM Gradassa viilujen liimauksessa käytetään polyeteenipohjaista muovikalvoa, johon on lisätty lisäaineita sen ominaisuuksien saamiseksi. Normaalisti kalvot ovat 0,10 millimetriä paksuja, mutta myös paksumpia kalvoja on käytössä. Käytössä olevan 0,10 mm paksun liimakalvon paino on  $136 \text{ g/m}^2$ . Liimauskalvo vaatii  $0,5 \text{ N/mm}^2$  paineen saavuttaakseen tarvittavan tunkeutumisen puuhun, jolloin liimasaumasta tulee kestävä. (Lankinen 2013.)

Tässä opinnäytetyössä käytettiin levyjen paksuuden kasvattamiseen liimakalvon lisäksi polyvinyylisetaattiliimaa (PVAc). Liima oli Kiilto 66 ja sen kosteusluokka oli D2. Lisäksi työssä käytettiin ureaformaldehydiliimaa (UF). UF-liiman valmistaja oli Dynea ja tuotemerkki Prefere 10F620. UF-liimaan lisättiin erillinen ammoniumsulfaattikovete.

### 3.9 Käyttökohteet

Taivutettujen puuprofiilien käyttökohteita mahdollisesti olisi huonekaluteollisuus sekä erilaiset saneerauskohteet, joissa on kaarevia muotoja. Huonekalujen valmistuksessa profiileista olisi mahdollista valmistaa erilaisia valmiita huonekalukomponentteja. Valmiita komponentteja voisi käyttää tuolien taivutettuina jalkoina ja käsinojina. Pöydissä komponentteja olisi mahdollista hyödyntää jalkoina. Saneerauskohteissa profiileja voisi hyödyntää lattia- ja kattolistoissa sekä mahdollisesti pyöreiden ikkunoiden listoina. Tuotteesta olisi myös mahdollista suunnitella aivan uusia tuotteita.

## 4 KOKEELLINEN OSUUS

Kokeellisessa osuudessa kerrotaan suoritetuista testeistä sekä työmenetelmistä joita opinnäytetyön aikana käytettiin. Koekappaleita valmistettaessa piti soveltaa teoriaosuudessa kerrottuja työstömenetelmiä työkalujen puutteen vuoksi.

Koekappaleita ei voitu työstää teollisuudessa käytettävillä laitteilla vaan kappaleiden valmistukseen käytettiin pienempiä ja hitaampia laitteita.

Koekappaleita suunnitellessa ja valmistaessa kappaleet valmistettiin siten, että ne ovat myös teollisessa mittakaavassa valmistettavissa.

### 4.1 Profiilien valmistaminen

Profiilien aihiot valmistettiin eri paksuisista UPM Grada -levyistä. Käytössäni oli kolmea eri paksuutta, jotka olivat 7 mm, 10 mm ja 15 mm. Näitä hyväksikäyttäen valmistin eripaksuisia aihioita, joiden rakenne ja paksuudet nähdään alla (TAULUKKO 3.) Levyt joista aihiot valmistettiin olivat mitoiltaan 245 x 300 mm. Levyt liimattiin toisiinsa siten, että levyjen pintaviilujen suunta oli sama. Tällöin levyn viilujen ristikkäinen rakenne muuttui. Tällä ei kuitenkaan ole haitallista vaikutusta profiilin rakenteen kannalta.

Taulukko 3. Levyjen paksuudet ja rakenteet

Käytetyt levyt paksuus (mm) ja määrät	Rakenne	Valmis paksuus (mm)
2 x 7	7 + 7	14
2 x 10	10 + 10	20
2 x 10, 1 x 7	10 + 7 + 10	27
2 x 7, 1 x 15	7 + 15 + 7	29
2 x 15	15 + 15	30

Aihoiden rakenteella tarkoitetaan järjestystä, jossa levyt on liimattu toisiinsa kiinni. Esimerkkinä aihioon jonka valmispaksuus on 29 mm, on käytetty kaksi 7 mm ja yksi 15 mm UPM Grada -levyä, jotka on liimattu siten, että 15 mm paksu levy on kahden 7 mm paksun levyn välissä. Tällaisessa rakenteessa ideana on se, että liimasauma on lähempänä pintaa, kun levyn paksuutta kasvatetaan lämpöä tarvitsevilla liimalla kuten UF-liimalla tai UPM Grada -liimauskalvolla. Tällä tavoin liimausaikaa saadaan lyhennettyä.

Levyjen liimauksessa käytettiin kolmea eri liimavaihtoehtoa (TAULUKKO 4.), joista kaksi liimaa oli kertakovettuvia nestemäisiä liimoja ja yksi UPM Gradan liimauskalvo. Tämän tarkoituksena oli testata kertakovettuvan liiman käyttäytymistä taivutuksessa sen kovettumisen jälkeen. Käytetyistä liimoista PVAc-liima oli käyttövalmista, mutta UF-liimaan sekoitettava ammoniumsulfaattikovete valmistettiin itse. Kovete valmistettiin lisäämällä vettä ammoniumsulfaattirakeiden sekaan. Kovetteen ainesuhteet olivat 7/10 vettä ja 3/10 ammoniumsulfaattia, jonka kemiallinen kaava on  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Valmista kovetetta lisättiin liimaan 7 paino-%. Valmiiseen UF-liimaan lisättiin liimasauman notkistamiseksi vielä 20 paino-% PVAc- liimaa.

Taulukko 4. Käytetyt liimat eri paksuuksissa

<b>Paksuus (mm)</b>	<b>PVAc</b>	<b>UF-liima</b>	<b>UPM Grada kalvo</b>
14	X	X	X
20	X	X	X
27	X	X	X
29		X	X
30			X

Liimausvaiheessa liimanlevitysmääränä käytettiin ohjearvoa, joka oli  $150 \text{ g/m}^2$ . Koekappalelevyjen pinta-ala oli  $0,0735 \text{ m}^2$ , joten liimaa per levy levitettiin noin

11 grammaa. Liima levitettiin koekappaleisiin digitaalisen puntarin päällä, jotta liimamäärä olisi oikea. UPM Grada -liimaukalkvosta leikattiin oikean kokoiset palat levyjen väliin.

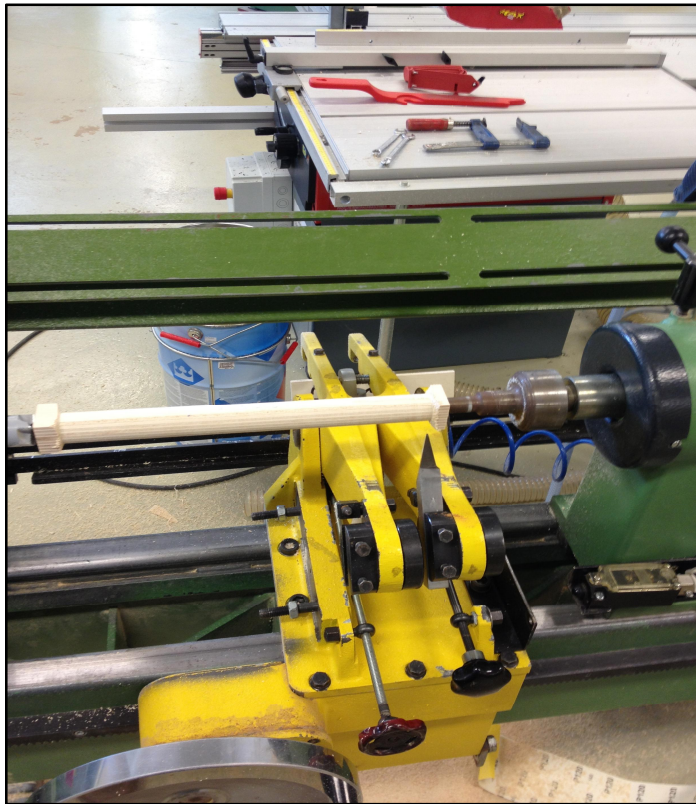
Levyjen liimauksessa käytettiin sähkövastuksilla lämpenevää yksivälistä hydraulipuristinta (KUVA 2.), jonka puristusala oli 500 x 500 mm. Liimauksessa käytettiin liimalle määrättyä puristuspainetta. UF-liimalla lämmitysaika oli myös ohjeen mukainen. UPM Grada -liimakalvolla liimatessa liimausaikaa suhteutettiin ohjearvojen mukaan.



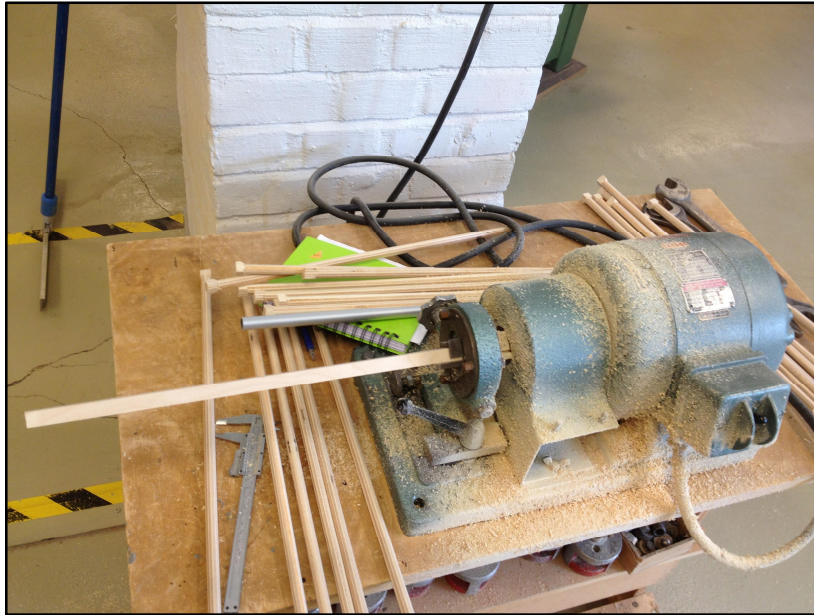
KUVA 2. Työssä käytetty lämmitettävä hydraulipuristin

Liimatuista levyaihioista sahattiin neliön muotoisia kappaleita tarkkuuspyörösahaa käyttäen. Kappaleet olivat mitoiltaan 14 x 14 mm, 20 x 20 mm, 27 x 27 mm, 29 x 29 mm ja 30 x 30 mm.

Pyöreitä profileja valmistettiin vain 14 x 14 mm ja 29 x 29 mm vahvuisista aihioista. Tämä johtui siitä, että lämmitysmuottimateriaaleja oli käytössä rajallisesti ja oikeista materiaaleista löytyi vain 25 mm ja 13 mm halkaisijaltaan olevia metalliputkia. 27 x 27 mm aihioista ei valmistettu profileja, koska kyseisissä kappaleissa oli ajoittain kohtalaisen suuria paksuuseroja ja siten niistä ei olisi saatu halutun vahvuista profiilia. Paksummat 25 mm halkaisijaltaan olevat profiilit valmistettiin sorvilla. (KUVA 3.) Ohuimmat 12,3 mm halkaisijaltaan olevat profiilit valmistettiin pyörötappikonetta käyttämällä. (KUVA 4.)



KUVA 3. Paksumman profiilin valmistusta sorvilla.



KUVA 4. Pyöreän profiilin valmistusta pyörötappikoneella.

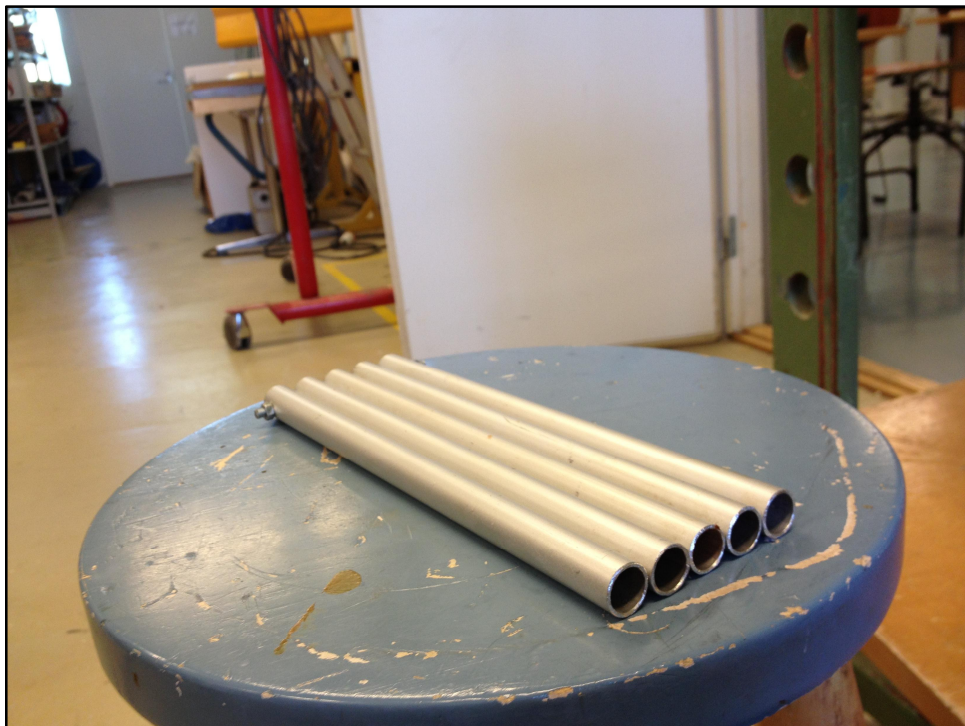
#### 4.2 Lämmitysmuottien valmistus

Lämmitysmuottien tarkoituksena on nopeuttaa lämmönsiirtymistä profiilin keskelle ja näin lyhentää UPM Gradan lämmitysaikaa. Muotteihin valittiin materiaaleiksi hyvin lämpöä johtavia metalleja, jotka tässä työssä ovat kupari ja alumiini. Kuparin lämmönjohtavuus on  $400 \text{ W/(mK)}$  ja alumiinin  $237 \text{ W/(mK)}$ . (Kervinen. Parkkila. 2006. 72.) Lämmitysmuotit valmistettiin metalliputkista, jotka kiinnitettiin toisiinsa rinnakkain. Kupariputket (KUVA 5.) juotettiin toisiinsa kiinni fosforikuparilla. Putkien lämmitykseen käytettiin hitsauspilliä. Alumiiniputket (KUVA 6.) kiinnitettiin toisiinsa mekaanisesti 5 mm halkaisijaltaan olevalla kierretangolla. Putkiin porattiin reiät, joista pujotettiin läpi tanko, jonka avulla putket kiristettiin mutterilla toisiinsa kiinni.





KUVA 5. Kuparinen lämmitysmuotti



KUVA 6. Alumiininen lämmitysmuotti

#### 4.3 Taivutusmuotin valmistus

Profiilien taivutusta varten valmistettiin taivutusmuotti. Tarvittavan muotin tekniset piirustukset tehtiin AutoCad-ohjelmalla. Muotin materiaalina käytettiin 45 mm paksua kertopuuta. Muotin muodot valmistettiin CNC-jyrsimellä. Tavutussäde jolla koekappaleet taivutettiin oli 100 mm. Muotin mitat ja muodot nähdään teknisestä piirustuksesta. (LIITE 1.)

#### 4.4 Pintakäsittely

Tässä osiossa testattiin profiilien pintakäsittelyä ennen lämmitystä ja taivutusta. Osa profiileista käsiteltiin yhdellä kerroksella alkydimaalia. Käytetyn maalin valmistaja oli Tikkurila ja merkki Miranol. Maali levitettiin profiileihin pensselillä. Valmista maalia ei tarvinnut ohentaa, koska viskositeetti oli sopivaa. Alkydimaali valittiin testiin sen joustavuuden vuoksi, sillä taivutusvaiheessa maaliin syntyy profiilin ulkokaarelle vetojännitystä.

#### 4.5 Lämmitysaikojen mittaukset

Lämmitysajan testeillä oli tarkoitus mitata lämmön siirtymistä profiilin pinnalta profiilin ytimeen. Lämmitykseen kulunut aika mitattiin sekuntikellolla. Lämmitysajat mitattiin O-profiileista. Profiilien lämmitykseen käytettiin samaa lämpöpuristinta, jolla levyt liimattiin toisiinsa paksuudenkasvatusvaiheessa. Lämpötilan todentamiseen testauksessa käytettiin digitaalista lämpömittaria, jonka lämpöanturi asetettiin profiilin päätyyn porattuun reikään. Reikä oli porattu profiilin keskikohtaan, jolloin saatiin mitattua lämmönsiirtyminen pinnasta keskikohtaan. Puristimen lämpötila oli testauksen aikana 147 - 151 °C. Testauksessa käytettyjen profiilien halkaisijat olivat 12,3 mm ja 25 mm.

Ensimmäisessä vaiheessa profiileja lämmitettiin ilman lämmitysmuottia. Otoksia ilman lämmitysmuottia 12,3 mm halkaisijaltaan oleville profiileille tuli 8 kappaletta ja 25 mm halkaisijaltaan oleville 6 kappaletta. Ilman muottia tehdyissä lämmityksissä haasteellista oli saada koekappaleet asettumaan puristimeen siten, että viilut ovat kohtisuorassa puristuspintoihin nähden. Puristettaessa pyöreä kappale saattoi menettää muotonsa, koska liimakalvot sulivat ja puristimen



aiheuttama paine liikutti viiluja sivuttaissuunnassa, jolloin muoto muuttui. Vaikka koekappale oli asetettu viilut kohtisuoraan puristuspintoja vasten, kappaleen lämmitessä uloimmat viilut puristuivat kasaan, jolloin täysin pyöreä muoto katosi kappaleesta.

Toisessa vaiheessa puristimeen asetettiin lämmitysmuotti. Halkaisijaltaan 12,3 mm oleville profiileille muotti oli valmistettu alumiinista ja 25 mm halkaisijalle kuparista. Toisessa vaiheessa otoksia 12,3 mm profiilille tuli 15 kappaletta ja 25 mm 9 kappaletta. Muoteilla lämmitettäessä koekappaleet säilyttivät pyöreän muotonsa, koska kappaleen pintaan ei kohdistunut minkäänlaista painetta, joka olisi aiheuttanut saman ongelman kuin ensimmäisessä vaiheessa. Lämmitystä testattiin myös maalatuille kappaleille, mutta niiden lämmitysaikoja ei otettu otoksiin mukaan. Tässä tarkoituksena oli testata maalin kestoa lämmityksessä ja taivutuksessa.

#### 4.6 Taivutus

Taivutukset tehtiin lämmitystestien yhteydessä. Taivutetut profiilit lämmitettiin ilman lämmitysmuottia ja lämmitysmuotin kanssa. Tämä riippui siitä kumpi lämmitystesti oli menossa. Taivutukset suoritettiin siihen valmistetulla muotilla. Kuuma profiili asetettiin muotin ala-osan päälle, jonka jälkeen profiili taivutettiin muotin muotoon käsin painamalla muotin ylä-osaa apuna käyttäen. Profiilin ollessa muotin muodossa muotin ylä-osa puristettiin käsipuristimella kiinni. (KUVA 7.) Muotti pidettiin tiukasti kiinni siihen asti, että profiilin lämpötila oli laskenut alle 80°C. Taivutussäde muotissa oli 100 mm. Taivutuskokeissa testattiin profiilin liimasaumojen kestoa sekä maalipinnan kestoa.

Taivutuksessa ilmeni käytännön ongelmia muotin kanssa. Puristettaessa profiilia kiinni sen viilut pääsivät liikkumaan sivuttaissuunnassa, jolloin profiili menetti pyöreän muotonsa. Alkuperäiseen muottiin jouduttiin kiinnittämään molemmille puolille viilujen sivuttaissuuntaisen liikkumisen estävät puukappaleet. Kappaleet naulattiin kiinni muotin sivuihin siten, että ne eivät estä puristamista.



KUVA 7. 25 mm profiilin taivutusta

## 5 VALMISTUSKUSTANNUKSET

Tässä osuudessa kerrotaan profiilien suuntaa-antavat valmistuskustannukset.

Kustannuslaskelmissa ei ole huomioitu koneen hankintahintoja. Kustannukset on eroteltu toisistaan, jotta nähdään mistä kustannukset syntyvät.

### 5.1 Materiaalin hinta

UPM Gradan eripaksuisten levyjen suuntaa-antavat hinnat nähdään alla olevasta taulukosta. (TAULUKKO 5.)

Taulukko 5. UPM Gradan suuntaa-antavat hinnat

Paksuus (mm)	Hinta €/m <sup>2</sup>
7	10
10	15
13	20

Näillä hinnoilla voidaan laskea yhden levyn hinta. Levyjen kokoja on kaksi vaihtoehtoa, jotka ovat 1250 x 2500 mm ja 1500 x 3000 mm. Pienemmän levyn pinta-alaksi tulee 3,125 m<sup>2</sup> ja isomman levyn pinta-alaksi 4,50 m<sup>2</sup>. Levykohtaiset hinnat nähdään alla olevasta taulukosta. (TAULUKKO 6.)

Taulukko 6. UPM Grada levykohtaiset suuntaa-antavat hinnat

Paksuus (mm)	m <sup>2</sup>	€m <sup>2</sup>	Yhteensä (€)
7	3,125	10	31,25
7	4,50	10	45,00
10	3,125	15	46,88
10	4,50	15	67,50
13	3,125	20	62,50
13	4,50	20	90,00

Näillä hintatiedoilla voidaan laskea yhden profiilin materiaalikustannukset.

Esimerkiksi, jos valmistetaan 24 mm paksua profiilia, liimataan kaksi 7 mm levyä ja yksi 10 mm vahva levy päällekkäin. Oletetaan, että käytössä on 1250 mm x 2500 mm olevat levyt. Yhdestä levystä saadaan yhteensä 43 kappaletta 24 x 24 x 2500 mm profiiliahiota. Levyn sahauksessa terän paksuus on 4 mm ja näin ollen sahauksessa levyä häviää 208 mm.

Profiilinmateriaalin hinta laskelma:

Koko levyn hinta:  $(2 \times 31,25 \text{ €}) + 46,88 \text{ €} = 109,40 \text{ €}$

Yhden profiiliahion hinta:  $(2 \times 31,25 \text{ €} + 46,88 \text{ €}) / 43 = 2,54 \text{ €}$

## 5.2 Profilointikustannukset

Profiloinnista kertyvät kustannukset määritellään käytössä olevien koneiden sähkönkulutuksen, sähkön hinnan, käyttöajan ja työntekijöiden palkan perusteella. Tässä kone-esimerkkinä on WEINIG- höyläkone, jonka malli on UNIMAT 518 (LIITE 2.), jolla tehdään profiilien muodot sekä Altendorf WA 8 TE (Altendorf 2013.), jolla sahataan levyt profiili aihioiksi. WEINIG-höyläkone on kuusi-karainen listahöylä. Altendorf-kone on yksiteräinen tarkistuspyörösaha.

Molemmilla työkoneilla työskentelee yksi työntekijä. Työntekijä työskentelee yhdessä vuorossa 8 tuntia, johon sisältyy 30 minuutin ruokatauko ja kaksi 13 minuutin kahvitaukoa, jolloin kone ei ole käytössä. Sähkön kWh-hinta on Parikkalanvalo Oy:n hinnastosta, joka on tullut käyttöön 1.1.2013. Kyseisen hinnaston teollisuussähkön hinta on 9,90 snt/kWh (Parikkalanvalo Oy 2013.)

Käytössä olevassa listahöylässä on kuusi karaa, joiden moottoritehot ovat (7,5 + 7,5 + 11,0 + 11,0 + 11,0 + 7,5) kW eli yhteensä 55,5 kW. Pyörösahan käyttömoottorin teho on 5,5 kW. Koneiden käydessä yhtenä päivänä yhteensä 7,066 tuntia tulee koneiden sähkönkulutukseksi  $7,066 \text{ h} \times (55,5 \text{ kW} + 5,5 \text{ kW}) = 431 \text{ kWh}$ , tällöin voidaan laskea koneiden käytön hinta:  $431 \text{ kWh} \times 9,90 \text{ snt/kWh} = 4266,9 \text{ snt} = 42,67 \text{ €/päivä}$ . Tähän hintaan lisätään työntekijöiden palkkakustannukset, jotka keskimäärin ovat kaikkine sivukuluineen on noin 30 €/tunti per työntekijä.

Profilointikustannukset yhteensä ovat:  $42,67 \text{ €} + 2 \times (8 \times 30 \text{ €}) = 522,67 \text{ €/päivä}$ .

### 5.3 Lämmityskustannukset

Profiilien lämmityskustannuksiin sisältyy puristimen käyttämä sähkönkulutus sekä yhden työntekijän kustannukset. Laite-esimerkiksi valittiin ORMA NPC EURO yksivälinen hydraulipuristin. Puristimessa lämmityslevyt lämmitetään sähkövastuksilla. Puristimen puristuspinta-ala maksimissaan on 1300 mm x 3000 mm. Puristimen teknisistä tiedoista löytyi sähköteho, joka on yhteensä 18,5 kW, josta lämmitysteho on 16,4 kW ja loppu teho menee hydraulikkamoottorille. (Promas 2013.)

Esimerkiksi, jos työskennellään yhdessä vuorossa 8 tuntia, josta poistetaan tauot 56 minuuttia, työaika jää jäljelle 7 tuntia ja 4 minuuttia. Tauoista huolimatta puristin on koko ajan päällä, jotta lämpötila ei laske taukojen aikana. Joten puristimen kuluttama sähkö lasketaan 8 tunnista ja laskussa käytetään puristimen kokonaistehoa (18,5 kW). Lämmityksessä työskentelee yksi henkilö. Sähkön kWh-hintana laskelmassa käytettiin samaa Parikkalanvalo Oy:n hinnastoa, jota profilointikustannuksissa käytettiin.

Sähkönkulutus / päivä:  $18,5 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 148 \text{ kWh}$

Sähkön hinta/päivä:  $148 \text{ kWh} \times 9,90 \text{ snt/kWh} = 1465,2 \text{ snt} = 14,65 \text{ €}$

Työntekijän kustannukset:  $8 \times 30 \text{ €} = 240 \text{ €}$

Lämmityskustannukset yhteensä:  $14,65 \text{ €} + 240 \text{ €} = 254,65 \text{ €}$

#### 5.4 Taivutuskustannukset

Profiilien taivutuskustannukset määräytyvät taivutettavan profiilin paksuuden mukaan. Tämä johtuu siitä, että jokaisella paksuudella kestää eri ajan jäähtyä alle  $80^{\circ}\text{C}$ , jolloin profiili voidaan ottaa pois puristuksesta. Jäähdytysajan lisäksi taivutuskustannuksiin sisältyy muotin kustannukset, jotka vaihtelevat valmistetun muotin hinnan mukaan. Tässä työssä ei valmistettu teolliseen ja pitkäikäiseen tarkoitukseen käytettävää taivutusmuottia, joten sen hintaa ei voida määrittää tässä laskelmassa. Taivutusvaiheessa työskentelee yksi henkilö yhdessä vuorossa. Työntekijän kustannukset 8 tunnin työpäivää kohden on 240 €

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä osuudessa kerrotaan testauksessa saadut tulokset. Tämän lisäksi kerrotaan miten testien tulokset vastasivat odotuksia sekä mitkä asiat ovat voineet vaikuttaa mahdollisiin virhetuloksiin.

### 6.1 Lämmitysaikatestit

Suoritettujen lämmitysaikatestien perusteella saatiin tietoon kuinka kauan lämmöllä menee aikaa siirtyä profiilin pinnalta ytimeen. Alkulämpötila profiileilla oli 20,5°C, joka mitattiin koekappaleen keskeltä ja samalla lämpömittarilla, jolla testit suoritettiin. Lämmitysajan ajanotto alkoi siinä vaiheessa, kun koekappale laitettiin muottiin ja ilman muottia tehdyissä testeissä silloin, kun koekappale asetettiin puristimeen ennen sen sulkeutumista.

#### Odotetut tulokset

Lämmitysaikaa yritettiin lyhentää valmistamalla metallinen lämmitysmuotti. Muoti valmistettiin, jotta lämpöä saadaan johdettua tasaisesti profiilin joka puolelta. Lämmitysajan lyhenemiselle ei ollut tarkkaa odotusarvoa, jota lähdettiin tavoittelemaan vaan tarkoituksena oli testata kuinka paljon aikaa saadaan lyhennettyä muotin avulla.

#### Virhearvot

Testauksen tuloksissa mahdolliset virhearvot on otettava huomioon. Lämmitysajoissa oli satunnaisesti kohtalaisen suuria ajan erotuksia. Suuret lämmitysajan heitot voivat johtua puun eri tiheydestä. Jos puu on tiheämpää, lämpö johtuu nopeammin kuin huokoisemmassa puussa. Myös lämpöanturille porattu reikä on voinut olla hieman vinossa, jolloin lämmitysaika lyhenee hieman, koska lämpöanturi on lähempänä pintaa.

#### Lämmitysajat

Testauksessa saadut ajat olivat odotetusti lyhyempiä muottien kanssa kuin ilman muotteja. Lämmitysajan keskiarvoksi saatiin 12,3 mm profiilille ilman muottia 245 sekuntia eli 4 minuuttia ja 4 sekuntia sekä muotin kanssa 213 sekuntia eli 3

minuuttia ja 33 sekuntia. Keskiarvoksi 25 mm profiilille saatiin ilman muottia 963 sekuntia eli 15 minuuttia ja 3 sekuntia sekä muotin kanssa 677 sekuntia eli 11 minuuttia ja 17 sekuntia. Jokaisen profiilin lämmitysaika nähdään liitteessä. (LIITE 3.)

Pienemmän halkaisijan profiilin lämmitysajan lyheneminen verrattuna isomman halkaisijan profiiliin lämmitysajan lyhenemiseen oli huomattavasti pienempi muotin kanssa kuin ilman muottia. Keskiarvoilla laskettuna pienemmän profiilin suhteellinen lämmitysaika lyheni 13,1 % ja isomman profiilin 29,7 %. Tämä luultavasti johtui siitä, että halkaisijan ollessa vain 12,3 mm puristimen levyt ovat hyvin lähekkäin ja näin levyistä hohkaa lämpöä, joka lämmittää profiilia myös sivuilta. Myös muottimateriaalin lämmönjohtavuus oli heikompi pienemmän halkaisijan muotissa. Suuremmalla halkaisijalla ilman muottia lämpö ei johdu yhtä hyvin profiilin sivuilta, koska levyjen etäisyys toisistaan on suurempi ja muotista saadaan suurempi hyöty.

## 6.2 Taivutustestit

Taivutustestien tulokset tarkasteltiin silmämääräisesti. Tarkastelun kohteena olivat viilujen kesto koekappaleissa, liimasaumat sekä maalin taivutuksenkesto. Tarkastelu tehtiin koekappaleen jäähtyttyä alle 80°C, jonka jälkeen se otettiin pois puristuksesta.

### Viilujen kesto

Taivutetuissa koekappaleissa huomattiin viilujen katkeilua sellaisissa viiluissa, jotka olivat syysuunnaltaan poikittain taivutussuuntaan nähden (KUVA 8.) Tätä tapahtui erityisesti pintaviiluilla. Tämä luultavasti johtui siitä, että kyseisen viilun päällä ei ollut viilua, jonka syysuunta olisi ollut pituussuuntaan, se kestää vetojännitystä paremmin ja näin tukee alemmaa viilua. Osassa kappaleista tapahtui sama ongelma, vaikka niissä oli pituussuuntainen viilu päällä. Tämä luultavasti johtui siitä, että pyöreän muodon ulommaisat viilut ovat hyvin kapeita eivätkä tämän vuoksi kestä taivutuksen aiheuttamia voimia. Yleisesti viilut kestivät odotusten mukaisesti ja taivutetusta koekappaleesta tuli halutunlaisia.





KUVA 8. Vasemman puoleisessa profiilissa katkennut viilu ja oikean puoleisessa profiilissa ehjä viilu.

#### Liimasaumojen kesto

Taivutetuissa koekappaleissa tarkasteltiin liimasauman kestoa. Liimasaumoissa oli PVAc- ja UF-liimaa. Tarkastelussa PVAc-liimalla liimattujen koekappaleiden saumat kestivät taivutusta, mutta luultavasti lämmityksestä johtuen liimasaumasta tuli elastinen. Tämä huomio tehtiin, koska kyseisen liimasauman viilut olivat liukuneet taivutuksen johdosta lähes samalla tavalla kuin UPM Gradan -liimakalvoa käytettäessä. Viilujen liukumisesta huolimatta sauma oli kiinni ja kestävä. UF-liimalla liimatut liimasaumat kestivät myös taivutusta. Tällä liimalla liimatut viilut eivät liukuneet taivutuksessa vaan pysyivät tiukasti kiinni toisissaan. Pienemmän halkaisijan koekappaleissa oli yksi liimasauma keskellä ja paksummassa koekappaleessa oli kaksi saumaa, jotka olivat keskikohdan ulko- ja sisäpuolella. Liimasauman paikan suhteen ei ollut huomattavissa eroja

kestävyyden osalta. Saaduista tuloksista päätellen taivutettavia profiileja voisi liimata myös kertakovettuvalla liimalla. PVAc-liiman käyttöä tulisi tutkia vielä, koska ei ole normaalia, että kyseisellä liimalla liimattu liimasauma antaa viilujen liukua taivutuksessa.

#### Maalin kestävyys

Koekappaleisiin levitetty alkydimaali kesti taivutuksen aiheuttaman veto- ja puristusjännityksen. Maalatuissa kappaleissa oli myös ongelmia viilun keston kanssa. Viilun mentyä poikki myös maalipinta katkesi samasta kohdasta. Lämmityksessä maalin lämmönkesto ei ollut riittävä. Tämä osoittautui värimuutoksena maalissa. Maalin väri muuttui oranssin sävyisestä tummanruskean sävyiseksi (KUVA 9.) Tämän perusteella käytetty maali ei sovellu käytettäväksi profiileissa ennen lämmitystä.



KUVA 9. Vasemmalla lämmitetty ja oikealla lämmittämätön koekappale.

### 6.3 Kehitysehdotukset

Tässä työssä olisi vielä paljon tutkittavaa. Profiilien valmistusmenetelmiä tulisi testata oikeassa mittakaavassa, jotta voitaisiin varmasti sanoa, että niitä voidaan valmistaa työssä mainituilla tavoilla. Erilaisten profiilimallien työstöä sekä toimivuutta olisi käytännössä testattava, jotta voitaisiin saada varmuus mallien toimivuudesta. Taivutetuille profiileille olisi myös käyttökohteiden kannalta tehtävä kestävyyskokeita. Testejä, joita profiileille tulisi tehdä, olisi ainakin taivutuslujuus ja rasiustestit, jos niitä halutaan käyttää huonekaluteollisuudessa. Huonekalutestaukset olisi mahdollista suorittaa esimerkiksi Lahden ammattikorkeakoulun akreditoitussa huonekalutestauslaboratoriossa.

Lämmitysaikojen lyhentämisen maksimoimiseksi olisi hyvä tehdä erilaisia muotteja, joiden avulla saataisiin testattua nopein lämmitysaika. Myös suuremmat otokset mittauksissa antaisivat paremman tulostarkkuuden. Liimojen testauksessa voisi testata vielä erilaisia liimavaihtoehtoja, jotka valittaisiin käyttökohteiden mukaan. Profiilien taivutukseen voisi valmistaa sellaisen muotin, jossa ylä- ja alakappaleet olisi muotoiltu profiilin mukaan. Tällä tavoin saataisiin estettyä viilujen sivuttaissuuntainen liukuminen ja säilytettyä profiilissa haluttu muoto, jos se on pyöreä. Pintakäsittelyä ennen lämmitystä voisi mahdollisesti testata erilaisilla pintakäsittelyvaihtoehdoilla, joissa olisi korkea lämmönkesto, ja kuivuttuaan pinta olisi elastinen. Pintakäsittelyn voisi ehkä paremmin tehdä lämmityksen ja taivutuksen jälkeen esimerkiksi upotusmenetelmällä. Tällöin ei elastisuudesta ja lämmönkestosta tarvitsi välittää.

## 7 YHTEENVETO

Tässä osuudessa kerrotaan, mitä työssä tehtiin sekä miten työ onnistui. Tämän lisäksi kerron, mitä opin opinnäytetyön teon aikana.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, olisiko mahdollista valmistaa UPM Gradan tehtaalta jäävistä hukkapaloista ja laadultaan hylätyistä levyistä taivutettuja puuprofiileja, jotta materiaalille saataisiin jatkojalostusmahdollisuus. Työn teoriaosuudessa kerrottiin työssä käytettävästä UPM Grada –materiaalista; miten sitä valmistetaan ja millaisia vaatimuksia se asettaa sitä käytettäessä. Osuudessa vertailtiin myös UPM Gradan etuja verrattuna perinteiseen muotopuristukseen. Työssä kerrotaan, millä tavoin UPM Gradasta olisi mahdollista valmistaa taivutettuja puuprofiileja. Lisäksi on kerrottu millaisia laitteita ja menetelmiä työstössä tulisi käyttää.

Kokeellisessa osuudessa UPM Gradasta valmistettiin kahta eri paksuista malliltaan pyöreää profiilia. Työssä profiilien lämmitysaikaa lähdettiin lyhentämään valmistamalla lämmitysmuotti hyvin lämpöä johtavasta metallista. Profiilien paksuutta kasvatettiin kahdella erilaisella kertakovettuvalla liimalla sekä UPM Gradassa käytettävällä liimakalvolla. Kertakovettuvien liimojen saumakestävyyttä testattiin taivutuskokeessa. Taivutuskokeessa testattiin myös viilujen ja maalin kestävyyttä. Koekappaleita varten valmistettiin muotti, jonka taivutussäde oli 100 mm.

Profiilien valmistukselle laskettiin suuntaa-antavat kustannuslaskelmat. Laskelmissa ei otettu huomioon koneiden hankinta hintaa.

### Työn onnistuminen

Opinnäytetyön tekeminen sujui omasta mielestäni hyvin. Opinnäytetyön tekeminen oli mielekästä, koska aihe oli mielenkiintoinen. Työssä saadut tulokset vastasivat odotuksia. Lämmitysaikaa saatiin lyhennettyä molemmilla muoteilla. Isommalle profiilille tehty kuparimuotti antoi suuremman hyödyn lämmityksessä. Liimaustestit osoittivat sen, että on mahdollista käyttää kertakovettuvia liimoja profiilien paksuuden kasvattamiseen, mutta liimoja tulisi tutkia enemmän sekä löytää parhaiten soveltuva liima tähän käyttöön. Profiilien taivutukseen olisi

voinut tehdä erilaisen muotin, mutta tehdyllä muotilla saatiin tehtyä tarvittavat testaukset. Muotin ainoa ongelma oli viilujen sivuttaissuuntaisen liikkumisen esto. Pintakäsittelyn testauksessa todettiin käytetyn maalin sopimattomuus, jos pintakäsittely tehdään ennen lämmitystä. Profiilien työstäminen onnistui hyvin, vaikka työmenetelmää piti muuttaa alkuperäisestä suunnitelmasta.

Tämän työn perusteella olisi mahdollista lähteä tutkimaan työmenetelmää lisää sekä kehittää sitä vielä pidemmälle. Saaduista tuloksista päätellen opinnäytetyössä tehdyt testit edistivät työmenetelmän mahdollista toteutumista. Työ oli haastava, koska työssä kehitettiin uutta työstömenetelmää. Aikatauluttamisen työssä olisin voinut suunnitella paremmin. Työn loppuvaiheilla alkoi olla hieman kiire tehtävien testien kanssa, mutta testit saatiin suoritettua ajoissa.

### Oma oppiminen

Opinnäytetyön teon aikana opin erittäin paljon uusia asioita. Työtä tehtäessä tutustuin syvällisemmin UPM Gradaan materiaalina. Aikaisemmin olen kyseisestä materiaalista tehnyt jo muutaman kouluprojektin. Työn aikana itsenäinen työskentelykykyni parani huomattavasti sekä opin jakamaan projektin osiin, jonka kautta työtä vietiin eteenpäin. Työssä pääsin tutustumaan kahteen eri yritykseen sekä näkemään yhden vaneritehtaan tuotannon toimintaa. Opinnäytetyön aikana pääsin myös tutustumaan uusiin ihmisiin ja luomaan omaa yhteysverkostoa. Työssä pääsin myös opettelemaan kuparin juottamista Koulutuskeskus Salpauksen metallityöpajalla. Tämän lisäksi työn aikataulutuksessa opin, että olisi parempi tehdä asiat heti kuin jättää asiat myöhempään ajan kohtaan. Työn antamasta kokemuksesta on tulevaisuudessa paljon hyötyä.

## LÄHTEET

### Elektroniset lähteet

Alibaba. 2013. Alibaba Products: Wood bending hydraulic press series [viitattu 6.4.2013] Saatavissa: [http://qdguosen.en.alibaba.com/product/551219059-210756473/hydraulic\\_bending\\_machine\\_press\\_for\\_chairs.html](http://qdguosen.en.alibaba.com/product/551219059-210756473/hydraulic_bending_machine_press_for_chairs.html)

Altendorf. 2013. Altendorf Products: WA 8 [viitattu 6.4.2013] Saatavissa: <http://www.altendorf.de/en/products/wa-8/wa-8-te.html#c10049>

Laine, H. 2013. Höyläkone [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Vähäsilta, J. Lähetetty 19.3.2013.

Parikkalanvalo. 2013. Parikkalanvalo Hinnasto: Teollisuussähkö [viitattu 2.4.2013] Saatavissa: <http://www.parikkalanvalo.fi/fi/index.php?page=teollisuussahko>

Promas. 2013. Promas Used machines: Presses [viitattu 6.4.2013] Saatavissa: <http://www.promas-woodworking.com/en/machines/06-presses/2328-orma-veneer-press-second-hand-npc-euro/>

UPM. 2013a. UPM lyhyesti: Historia [viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/UPM-Lyhyesti/Historia/Pages/default.aspx>

UPM. 2013b. Liiketoiminnot [viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Pages/default.aspx>

UPM. 2013c. UPM [viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Pages/default.aspx>

UPM. 2013d. UPM Tutkimus ja kehitys: UPM Grada [viitattu 11.1.2013]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Tutkimus/upm-grada/Pages/default.aspx>

UPM. 2013e. UPM Tutkimus ja kehitys: UPM Grada [viitattu 15.2.2013]. Saatavissa: [http://www.upmgrada.com/plywood\\_profile\\_upm\\_grada\\_2010.pdf](http://www.upmgrada.com/plywood_profile_upm_grada_2010.pdf)

UPM. 2013f. UPM Tutkimus ja kehitys: UPM Grada [viitattu 15.2.2013].

Saatavissa: [http://www.upmgrada.com/upm\\_grada\\_en\\_hires.pdf](http://www.upmgrada.com/upm_grada_en_hires.pdf)

#### Suulliset lähteet

Hassinen, A. 2013. Projekti-insinööri. UPM. Tehdasvierailu 14.3.2013

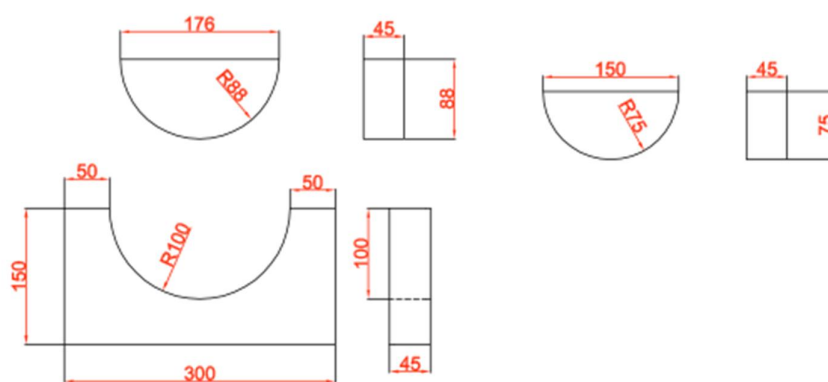
Lankinen, A. 2013. Kehitysinsinööri. UPM. Haastattelu 22.2.2013

#### Kirjalliset lähteet

Kervinen, M, Parkkila, I. 2006. Maol taulukot. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

## LIITTEET

### LIITE 1 Puristusmuotin piirustukset





LIITE 2 WEINIG-höyläkone (Laine, H. 2013.)



LIITE 3/1 Lämmitysajat alumiinimuotilla

Lämmitysaika(sek.)	Paksuus 12,3mm
220	
234	
200	
197	
181	
172	
199	
225	
239	
213	
197	
227	
237	
221	
228	
213	Ka.
239	min.
172	max.

### LIITE 3/2 Lämmitysajat ilman muottia

Lämmitysaika (sek.)	Paksuus 12,3mm
238	
250	
262	
215	
262	
250	
246	
233	
245	Ka.
215	min.
262	max.

### LIITE 3/3 Lämmitysajat kuparimuotilla

Lämmitysaika (sek.)	Paksuus 25mm
667	
688	
615	
705	
713	
750	
627	
634	
694	
677	Ka.
615	min.
750	max.

### LIITE 3/4 Lämmitysajat ilman muottia

Lämmitysaika (sek.)	Paksuus 25mm
944	
1038	
903	
1079	
929	
886	
963	Ka.
886	min.
1079	max.